云 南 植 物 研 究　2008，30 (4)：400～404
Acta Botanica Yunnanica　DOI：10.3724 SP.J.1143.2008.07240

植物区系平衡点及其生物地理意义*

冯建孟[1,2]，徐成东[3]

（1 大理学院生命科学与化学学院，云南 大理　671000；2 北京大学环境学院生态学系，北京　100871；
3 楚雄师范学院 化学与生物系，云南 楚雄　675000）

摘要：了解植物区系平衡点及其生物地理意义对于理解植物区系的起源、分化以及生物多样性空间格局的形成等方面均具有重要意义。本研究利用野外考察数据、相关的研究案例以及不同地区的种子植物物种名录，探讨了区系平衡点的海拔高度与纬度的关系及其生物地理意义。以药山自然保护区为例的区系平衡点计算结果表明，该区域的区系平衡点海拔在 2 050 m 左右；各区域区系平衡点海拔随着纬度的升高呈单调下降格局；各研究区域区系平衡点的年平均温度具有高度的一致性，在 12.96±0.28℃左右，表明区系平衡点的出现反映了一定的热量意义，在该温度以下，植物区系成分以热带、亚热带成分为主，而在该温度以上，占主导地位的则是温带区系成分；根据区系平衡点海拔与纬度的关系，我国东部地区植被南北分界线的理论分界线在 36°N 左右；根据区系平衡点年均温以及我国东部地区等温线的地理分布，我国东部地区植被的南北分界线在 34～35°N 之间，位于秦岭北坡，这与过去相关研究比较一致。

关键词：区系平衡点；海拔；纬度；年平均温度；植被南北分界线

中图分类号：Q 948　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：0253-2700 (2008) 04-400-05

Floristic Equilibrium Point and Its Biogeographic Significance

FENG Jian-Meng[1,2]，XU Cheng-Dong[3]

(1 *College of Life Science and Chemistry*，*Dali University*，Dali 671000，China；2 *Department of Ecology*，
College of Environmental Science，*Peking University*，Beijing 100871，China；3 *Department of Biology*，
College of Chemistry and Life Science，*Chuxiong Normal University*，Chuxiong 675000，China)

Abstract: The floristic equilibrium point and its biogeographic significance are important for understanding the floristic origin，distribution，and spatial patterns of plant diversity. Based on field surveys，documented data and related case studies，the relationship between altitude and latitude at floristic equilibrium points，and its biogeographic significance are examined. The results showed a floristic equilibrium point at 2 050 m elevation on Mt. Yao，northeastern Yunnan，China. The elevation of the floristic equilibrium point decreases with an increase in latitude. Mean annual temperature at different floristic equilibrium points shows high consistency around 12.96±0.28℃，which hints that the floristic equilibrium point reflects certain energy requirements. Below the floristic equilibrium point，the majority of the flora contains tropical and subtropical elements；above that point temperate elements are dominant. According to the relationship between altitude and latitude at the floristic equilibrium point，the theoretical north-south dividing line between the vegetation in eastern China is around 36°N. According to the mean annual temperature at the floristic equilibrium point and spatial patterns of the isotherm in eastern China，the north-south boundary of vegetation is between 34 and 35°N，on the northern slope of the Qinling Mountains，which is consistent with previous case studies.

Key words: Floristic equilibrium point；Altitude；Latitude；Mean annual temperature；North-south dividing line of vegetation

---

* 基金项目：国家自然科学基金面上项目（30760040）
收稿日期：2007-10-16，2007-11-28 接受发表
作者简介：冯建孟（1971-）男，副教授，博士，主要从事云南植物多样性的研究。

植物区系是组成植被分布的基础，作为物种形成过程的空间反映，植物区系是植物地理学的核心内容之一。沈泽昊等（2001）认为植物区系地理成分不仅反映了该区系与全球各地植物区系的历史渊源和相互联系，也是对各地环境条件(气候）的一种表征。植物区系平衡点指的是海拔梯度上温带区系成分与热带、亚热带区系成分所占比重相等时的海拔高度或海拔区域。这一概念一方面表征了植物区系的强烈过渡性及其相互之间的联系，同时也指示着过去自然历史条件，尤其是以气温为主导因素的气候条件的历史性变迁（彭华，1996）。因此，了解植物区系平衡点及其生物地理意义，对于理解植物区系的分化、联系以及与自然历史条件的关系等方面均具有重要意义。彭华（1996）通过对滇中无量山自然保护区植被的研究，探讨了该研究区域植物区系的平衡点，认为区系平衡点是一个动态平衡点，可能会随着自然历史条件，尤其是气温的历史性变迁，发生相应地变化，并对区系平衡点在生产实践中的重要意义作了深入分析。同时，该研究还指出区系平衡点海拔与纬度之间可能存在一定的联系，相关研究具有重要意义。但是，截至目前，有关植物区系平衡点及其生物地理意义的研究仍比较少，有关区系平衡点与纬度的关系及其生物地理意义还未进行初步的探讨。本研究利用野外考察数据、相关的研究案例以及不同地区的种子植物物种名录，探讨了植物区系平衡点与纬度的关系、生物地理意义及其在我国东部地区植被南北分界中的初步应用。

1　来源与方法

1.1　数据来源

源数据部分来自本研究小组野外调查资料（主要指高黎贡山北段的野外考察数据），同时参考了公开发表的相关研究案例（主要包括滇东南的大围山（王娟等，2005）；湖北的神农架（沈泽昊等，2004）；四川的贡嘎山(刘照光，1985；沈泽昊等，2004)、三峡大老岭（沈泽昊等，2001）和滇中的无量山（彭华，1996）），为了弥补数据量的不足，本研究还利用不同地区的植物物种名录及其海拔分布信息，分析、计算各研究区域的区系平衡点海拔（主要包括滇东北的药山自然保护区（彭明春等，2006；滇西南的南滚河（杨宇明等，2004）；贵州的佛顶山（贵州省林业厅，2000）；我国东北地区的长白山① 和广西老山自然保护区（谭伟福，2005））。在此基础上，本研究还参考了云南植物志（中国科学院昆明植物研究所，1976）、云南种子植物名录（吴征镒等，1984）、云南植被（吴征镒和朱彦丞，1987）和中国植被（吴征镒等，1980）等经典文献。

1.2　区系平衡点海拔的计算

本研究以药山自然保护区为例进行区系平衡点的计算。根据药山自然保护区种子植物物种的海拔分布信息。分析从低海拔到高海拔，每隔100 m海拔段内物种的分布及其组成。为了对各海拔段内的植物物种进行区系类型标识，本研究参照了吴征镒有关中国种子植物属分布区类型的界定（吴征镒，1991）。15个植物区系类型分别为世界分布区类型（C）、泛热带分布（T2）、热带亚洲和热带美洲间断分布（T3)、旧世界热带分布（T4)、热带亚洲至热带大洋洲分布（T5)、热带亚洲和热带非洲分布（T6)、热带亚洲分布（T7)、北温带分布（T8)、东亚和北美洲间断分布（T9)、旧世界温带分布（T10)、温带亚洲分布（T11)、地中海、西亚至中亚分布（T12)、中亚分布（T13)、东亚分布（T14）和中国特有分布(E)。其中，T2～T15通称为非世界分布类型；T2～T7为热带区系成分（Trop），T8～T14为温带区系成分(Temp)。区系过渡性采用热带、亚热带区系成分的比重（T_{Trop}）与温带区系成分的比重（T_{temp}）之比值进行表示，当（$T_{Trop}/T_{temp}=1$时，区系过渡性达到最大，温带成分和热带、亚热带成分所占比重相等，也就是说在该海拔区域，温带与热带、亚热带区系成分之间的相互作用达到平衡，即在该海拔高度上存在区系平衡点。同时，本研究还根据物种分布名录及其海拔分布信息，采用同样的方法，分析、计算了高黎贡山北段、广西老山、贵州佛顶山，云南南滚河和东北长白山等地的植物区系平衡点。

1.3　区系平衡点与纬度的关系

根据本研究小组的野外考察数据、公开发表的相关研究案例以及大尺度的物种分布信息，经过整理、分析，获得各研究区域区系平衡点的海拔高度与纬度信息，在此基础上，通过统计分析，探讨区系平衡点与纬度的关系。

1.4　区系平衡点的生物地理意义

在本研究中，区系平衡点的生物地理意义主要考虑区系平衡点在热量或温度方面的规律，根据我国东部地区近496个站点的气候数据获得年平均温度与经、纬度和海拔的关系，建立多元回归方程：

年平均温度（Mean annual temperature）（℃）

---

① 中国科学院长白山森林生态系统定位观测站，1982．长白山植被（内部资料），1—135

$$= 58.16 - 0.60^{*}\ \mathrm{Lat} - 0.004^{*}\ \mathrm{Alt} - 0.21^{*}\ \mathrm{Long}$$

$$(R^2 = 0.97,\ P < 0.0001) \qquad （式 1）$$

可以看出，上述方程具有极高的信度（$R^2 = 0.97$，$P < 0.0001$），完全可以用于预测、计算我国东部地区不同区域的年平均温度。根据不同区域区系平衡点的经、纬度和海拔，利用上述回归方程，计算各区系平衡点的温度（表1），籍此分析区系平衡点区域温度的一致性。

1.5 区系平衡点在我国植被南北分界中的初步应用

本研究首先根据反映区系平衡点海拔与纬度关系的方程，探讨了我国东部地区植被南北分界线的理论上的分界线。同时，本研究根据不同区域区系平衡点区域的年平均温度的均值以及我国东部地区年平均温度的等温线的地理分布（刘明光，1997），探讨我国东部地区植被的南北分界线，即在该界线以北，植物区系以温带区系成分占主导地位，不存在区系平衡点，该分界线以南，存在区系平衡点，区系平衡点以下，植物区系以热带、亚热带植物区系为主。

2 结果与讨论

2.1 区系平衡点的计算

本研究中区系平衡点的计算以药山自然保护区为例，从图1中可以看出，温带区系成分所占比重之和随着海拔的升高呈显著增加趋势，这与温带区系植物耐低温，适宜分布在高海拔区域的生态适应性比较一致，但是，热带、亚热带区系成分所占比重之和随着海拔的升高呈单调递减格局，这与热带、亚热带区系植物喜温、适合分布在低海拔区域的生态特性比较一致。进一步观察发现在海拔梯度上温带区系成分和热带、亚热带区系成分所占的比重，在海拔2 050 m左右存在一个交点，即在2 050 m附近，热带、亚热带区系成分与温带区系成分所占的比重比较接近或相等，也就是说，对整个海拔梯度而言，区系平衡点以下，热带、亚热带区系成分占主导地位，但在区系平衡点以上，占主导地位的则是温带区系成分。因此，区系平衡点是一个十分有意思的现象，揭示着海拔梯度上植物区系成分的整体性质的巨大变迁。沈泽昊等（2004）在湖北的神农架，彭华（1996）在滇中无量山的研究也表明，随着海拔的升高，热带、亚热带区系成分所占比重呈下降趋势，而温带区系成分所占比重呈递增趋势，两者之间存在一个交点，即区系平衡点，因此，区系平衡点的出现可能具有一定的普适性和规律性。

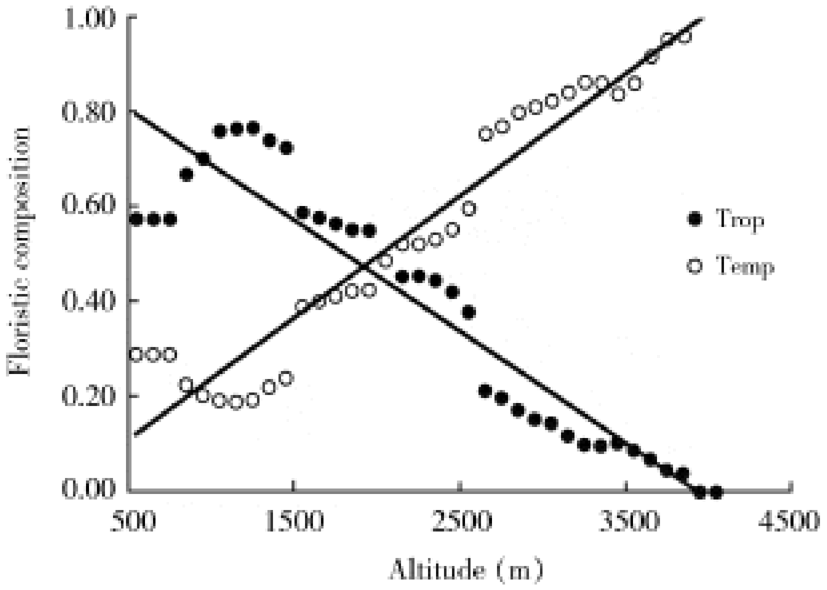

图1 药山自然保护区温带植物区系成分与热带、亚热带植物区系成分所占比重的海拔分布格局

Fig.1 Altitudinal patterns of floristic composition of temperate and tropical elements in Mt.Yao Nature Reserve

2.2 区系平衡点的纬度格局及其生物地理意义

从图2可以看出，随着纬度的升高，区系平衡点的海拔高度呈降低趋势，也就是说，从南到北，海拔梯度上区系平衡点的海拔高度呈显著下降的趋势。在低纬度地区，分布于低海拔区域的植物具有强烈的热带性质，需要巨大的海拔高差或海拔梯度，才能使植物区系成分从强烈的热带性质过渡到温带性质。但是，在纬度较高地区，低海拔区域植物区系的热带性质已经比较弱或不够明显，较小的海拔梯度就有可能使植物区系成分从热带性质过渡到温带性质，即出现区系平衡点，这在一定程度上也解释了表1中滇西南的南滚河（杨宇明等，2004）以及滇东南的大围山

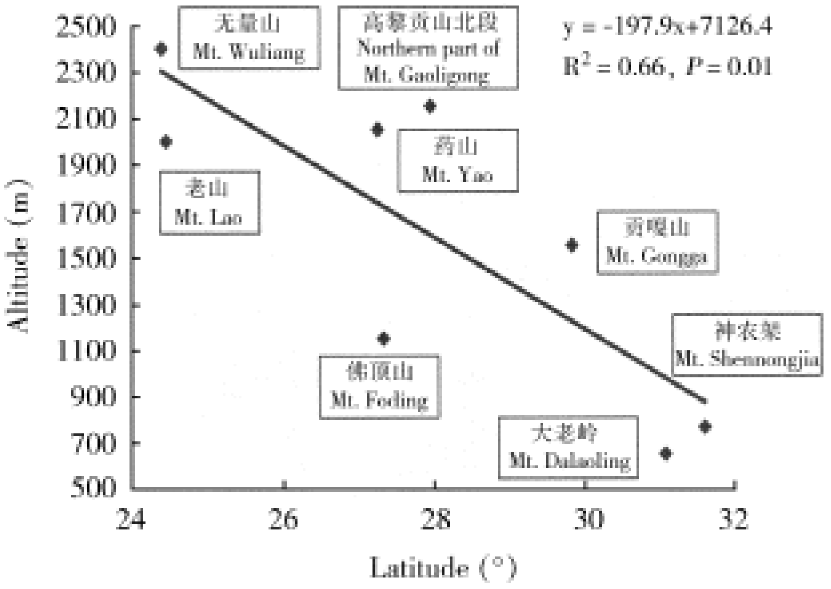

图2 纬度梯度上区系平衡点海拔的变化格局

Fig.2 Altitude at floristic equilibrium points on latitudinal gradients

表 1　不同山体区系平衡点的年平均温度及其基本信息

Table 1　Basic information of floristic equilibrium point and its mean annual temperature

山体 Mountains	纬度 Latitude (°)	经度 Longitude (°)	区系平衡点海拔 Altitude (m)	年平均温度 Mean annual temperature (℃)	年均温均值 Mean of MAT (℃)
无量山 Mt. Wuliang	24.38	100.65	2400	12.80	12.96±0.28
佛顶山 Mt. Foding	27.33	108.10	1150	14.46	
高黎贡山北段 Northern part of Mt. Gaoligong	27.95	98.50	2150	12.31	
贡嘎山 Mt. Gongga	29.83	101.88	1550	12.67	
神农架 Mt. Shennongjia	31.61	110.50	766	12.93	
大老岭 Mt. Dalaoling	31.08	111.01	650	13.60	
药山 Mt. Yao	27.25	103.10	2050	11.96	
老山 Mt. Lao	24.44	106.35	2000	13.16	
长白山 Mt. Changbai	41.92	128.12	—	—	
大围山 Mt. Dawei	22.85	103.71	—	—	
南滚河 Nangun River	23.25	99.31	—	—	

(王娟等，2005) 不存在区系平衡点的原因，因为这两个区域位于低纬度地区，出现区系平衡点的海拔高度相对较高，但两者的海拔梯度不足以使区系成分从强烈的热带、亚热带成分过渡到以温带区系成分为主，产生区系平衡点。进一步分析图 2 可以看出，随着纬度的升高，区系平衡点海拔呈下降趋势，可以推断，在一定的纬度区域，区系平衡点的海拔可能降至海平面，即图中的趋势线可能与纬度之间存在一个交点，这意味着在交点以北，植物区系以温带区系成分为主，不存在区系平衡点，而在交点以南，可能存在区系平衡点，在平衡点以下植物区系以热带、亚热带区系成分为主，而在平衡点以上，温带区系成分占主导地位。因此，这个交点是我国东部地区植被南北分界线中理论上的纬度分界线，这也许就是区系平衡点的生物地理意义之一。

2.3　区系平衡点的温度解释

前面已经提到，随着纬度的升高，区系平衡点海拔呈降低趋势，这是一个十分有趣的现象。但是，是什么原因导致了这一现象？这意味着什么？但到目前为止，上述现象还未得到初步的解释。从生态学角度来看，纬度梯度和海拔梯度在很大程度上反映了热量条件的地理格局，即纬度升高，意味着热量的降低，而海拔的降低，则意味着热量的增加。因此，随着纬度的升高，区系平衡点海拔呈降低趋势，这一表象，似乎是一个比较矛盾的现象。难道随着纬度的升高，区系平衡点海拔呈降低趋势？这一现象意味着区系平衡点的存在或发生反映了一定的热量条件，即区系平衡点周边区域的热量或温度既不能太高，也不能太低，必须接近一个恒定值？为了验证这一假设，本研究整理、计算了不同研究区域中区系平衡点区域的年平均温度（表 1），从表 1 可以看出，不同研究区域的区系平衡点的年平均温度具有较大的一致性，在 12.96℃左右，且标准误很小，仅为 0.28℃，这可能意味着区系平衡点反映了一定的热量意义，即年均温 12.96±0.28℃以下的区域，植物区系以温带区系成分为主，而年均温 12.96±0.28℃以上的区域，热带、亚热带成分占主导地位，因此，这可能也是植物区系平衡点在生物地理上的重要意义之一。

2.4　区系平衡点在我国植被南北分区中的初步应用

根据图 2 中区系平衡点海拔与纬度的回归方程，我们可以计算得到区系平衡点海拔高度等于海平面时的纬度（36°N），这意味着我国植被南北植被分界线（即从常绿阔叶林（热带为主）向落叶阔叶林（温带成分为主）过渡的分界线，理论上，一般认为是常绿、落叶混交林，下同）中理论上的分界线在纬度 36°N 左右，该纬度线以北植物区系以温带区系成分为主，以南则以热带、亚热带区系成分为主。但是，在我国东部地区，该纬度附近的周边地区，海拔高度接近海平面的陆地主要为华北平原地区，农业活动剧烈，而我国东部地区植被的南北分界线主要是针对山地地带性植被而言。同时，该方法没有充分考虑现实地形的地理格局，尤其是海拔高度对南北植被分界线的影响，而且与过去的相关研究（候学

煜, 1964) 相比, 该分界线也明显偏北, 因此, 该分界线可能只是理论上的, 而不是现实的植被南北分界线。因此, 本研究试图通过区系平衡点的热量意义, 对我国东部地区的植被南北分界线作初步的研究。本文根据我国东部地区年平均温度的等温线 (刘明光, 1997) 以及表1中区系平衡点温度的均值及其标准误进行初步的判断。结果表明, 我国东部地区植被的南北分界线在34～35 °N之间, 接近我国东部地区的秦岭北坡, 这与过去的相关研究 (候学煜, 1964) 比较一致。必须指出的是, 上述植被南北分界线的界定只是初步的探讨, 由于受数据量和温度数据空间分辨率的限制, 这一方法有待进一步改进。尽管如此, 该方法不失为一种界定我国东部地区植被南北分界线的一种新的思路, 而本研究只是做了初步的尝试, 这也是本文的主要目的之一。

3 小结

本研究利用野外考察数据、相关的研究案例以及不同地区的种子植物物种名录, 探讨了区系平衡点的海拔高度与纬度的关系及其生物地理意义, 结论如下:

1. 以药山自然保护区为例的区系平衡点计算结果表明, 该区域的区系平衡点海拔在2 050 m左右;

2. 区系平衡点海拔随着纬度的升高呈单调下降格局;

3. 各研究区域区系平衡点的年平均温度具有高度的一致性, 在12.96±0.28℃左右, 表明区系平衡点的出现反映了一定的热量意义;

4. 根据区系平衡点海拔与纬度的关系, 我国东部地区植被南北分界线的理论分界线在36°N左右;

5. 根据区系平衡点年均温以及我国东部地区等温线的地理分布, 我国东部地区植被的南北分界线在34～35 °N之间, 接近于过去相关研究所认定的我国东部地区秦岭北坡。

〔参 考 文 献〕

中国科学院昆明植物所, 1976. 云南植物志 (1～16卷) [M]. 北京: 科学出版社

刘明光, 1997. 中国自然地理地图集 [M]. 北京: 中国地理出版社, 30—35

刘照光, 1985. 贡嘎山植被 [M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1—152

吴征镒, 1980. 中国植被 [M]. 北京: 科学出版社, 2—514

吴征镒, 1984. 云南种子植物名录 [M]. 昆明: 云南人民出版社, 1—612

吴征镒, 朱彦丞, 1987. 云南植被 [M]. 北京: 科学出版社, 3—713

杨宇明, 杜凡, 2004. 中国南滚河国家级自然保护区 [M]. 昆明: 云南科技出版社, 2—356

贵州省林业厅, 2000. 贵州佛顶山自然保护区科学考察 [M]. 北京: 中国林业出版, 1—157

彭明春, 王崇云, 党承林等, 2006. 云南药山自然保护区的生物多样性及保护研究 [M]. 北京: 科学出版社, 3—212

谭伟福, 2005. 广西岑王老山自然保护区生物多样性研究 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 10—312

Hou XY (侯学煜), 1964. Discussion on vegetation zone in China, principles, evidence and unit [J]. *J Plant Ecol Geobotany* (植物生态学与地植物学丛刊), **2** (2): 153—179

Peng H (彭华), 1996. The floristic equilibrium point of seed plants in Mt. Wuliangshan [J]. *Acta Bot Yunnan* (云南植物研究), **18** (4): 385—397

Shen ZH (沈泽昊), Hu HF (胡会峰), Zhou Y (周宇), 2004. Altitudinal patterns of plant species diversity on the southern slope of Mt. Shengnongjia, Hubei, China [J]. *Biodivers Sci* (生物多样性), **12** (1): 99—107

Shen ZH (沈泽昊), Liu ZL (刘增力), Wu J (伍杰), 2004. Altitudinal patterns of flora on the eastern slope of Mt. Gongga [J]. *Biodivers Sci* (生物多样性), **12** (1): 89—98

Shen ZH (沈泽昊), Zhang XS (张新时), Jin YX (金义兴), 2001. A vertical gradient analysis of the flora of Dalaoling Mountain in the Three Gorges region, China [J]. *Acta Phytotax Sin* (植物分类学报), **39**: 260—268

Wang J (王娟), Ma QY (马钦彦), Du F (杜凡) *et al.*, 2005. Altitudinal patterns of seed plants on Dawei Mountain, Yunnan province, China [J]. *Acta Phytoecol Sin* (植物生态学报), **29** (6): 894—900

Wu ZY (吴征镒), 1991. The areal-types of Chinese genera of seed plants [J]. *Acta Bot Yunnan* (云南植物研究), **Suppl. IV**: 1—139